

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-329063

(43)Date of publication of application : 15.12.1998

(51)Int.Cl.

B25J 9/10

B25J 9/12

G05B 11/32

G05B 19/18

(21)Application number : 09-138543

(71)Applicant : YASKAWA ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.05.1997

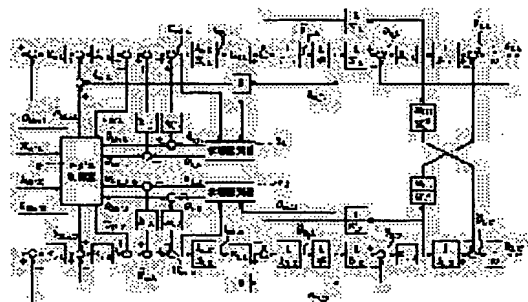
(72)Inventor : OSHIMA MASAO
KARIYAZAKI HIROKAZU
TOMIZAKI HIDENORI

(54) ROBOT CONTROL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve locus precision of a tip of a tool without generating vibration due to interference between axes and high frequency of an electric motor by a method wherein an interference force exerted from the other axis is corrected by a model controller, and based on a correction amount, each state amount forming a norm is inputted to a feedback controller.

SOLUTION: A robot control device is provided with a model controller 1 for a pseudo model serving as a control system for two axes of one being an L-axis and the other being a U-axis. The model controller 1 inputs electric motor position commands X_{ref-L} and X_{ref-U} and by considering dynamics of a robot, the feed forward commands $UFF-L$ and $UFF-U$ of each axis, electric motor position commands θ_{Mm-L} and θ_{Mm-U} for a model forming a norm, and electric motor speed commands $\dot{\theta}_{Mm-L}$ and $\dot{\theta}_{Mm-U}$ are calculated and outputted to a control system. As noted above, since, after an interference force is corrected by the model controller 1, each state amount forming a norm is inputted as a command to a feedback control system, each robot arm is prevented from being influenced by interference from the other axis.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-329063

(43) 公開日 平成10年(1998)12月15日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

B 2 5 J 9/10

B 2 5 J 9/10

A

9/12

9/12

G 0 5 B 11/32

G 0 5 B 11/32

F

19/18

19/18

D

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-138543

(22) 出願日 平成9年(1997)5月28日

(71) 出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72) 発明者 尾島 正夫

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 飯屋崎 洋和

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 宮崎 秀徳

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 ロボット制御装置

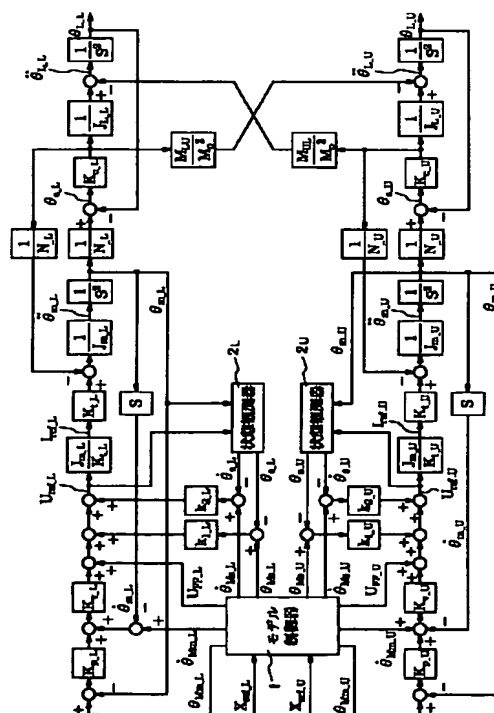
(57) 【要約】

【課題】 各軸ごとに電動機とロボットアームとの間にバネ要素を有する機構が設けられた多軸ロボットを制御する際に、軸間の干渉による振動や電動機の高周波振動を起こすことなく、ツール先端の軌跡精度を向上させる。

【解決手段】 各電動機に対する位置指令 X_{ref_L} , X_{ref_U} を入力とし、各電動機及び各ロボットアームを駆動、制御するフィードバック制御系に対して、モデル電動機位置指令 θ_{Mm_L} , θ_{Mm_U} 、モデル電動機速度指令【外1】

$$\dot{\theta}_{Mm_U}, \dot{\theta}_{Mm_L}$$

及びモデルフィードフォワード指令 U_{FF_F} , U_{FF_L} を出力するモデル制御器1を設ける。モデル制御器1の内部に、軸間に作用する他軸からの干渉力を考慮してこの干渉力を相殺するような補正量(補正トルク)を算出する補正量算出部を設け、補正量を加算してからモデルフィードフォワード指令を出力する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 各軸ごとに電動機とロボットアームとの間にバネ要素を有する機構が設けられた多軸ロボットの制御に使用され、

前記各電動機に対する位置指令を入力として、前記各軸ごとに、モデル電動機位置指令、モデル電動機速度指令及びモデルフィードフォワード指令を出力するモデル制御器と、

前記モデル制御器から出力される前記各指令に基づき、前記各電動機及び前記各ロボットアームを駆動、制御するフィードバック制御器と、を備えるロボット制御装置において、

前記モデル制御器内に、軸間に作用する他軸からの干渉による干渉トルクを求め、前記干渉トルクを相殺するモデル補正トルクを算出する補正量算出部を有し、前記モデル補正トルクを加算された前記モデルフィードフォワード指令が前記モデル制御器から出力することを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 2】 前記補正量算出部は、前記干渉トルクを、モデル電動機とモデルロボットアームとの位置偏差であるモデルねじり角により算出する、請求項 1 に記載のロボット制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、産業用ロボットなどの多軸ロボットを制御するロボット制御装置に関し、特に、互いの軸間に作用する力学的な干渉により生じる振動を抑制できるロボット制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、電動機により各軸が制御される産業用ロボットでは、電動機の力不足を補ったり負荷側からの外乱力の影響を極力小さくしたりするために、減速比の大きなハーモニックドライブ等のギアを介して、負荷側のアームを駆動している。したがって、従来は、制御軸間の力学的干渉はそれほど問題にされてこなかった。しかしながら、近時の高速化、高精度化の要求の高まりから、P I 制御では補償しきれない力学的影響や、高減速比駆動であっても無視できない外乱が生じ、問題となってきている。各軸の電動機とロボットアームとの間にそれぞれ減速機などのバネ要素を有する機構が設けられた多軸ロボットにおいて、軸干渉による振動を抑制する方法として、本出願人は、既に、特願平 8-32230 を出願している。特願平 8-32230 に示される発明では、各軸に状態観測器を配置して電動機と負荷の間のねじれ角度を推定し、推定されたねじれ角度を用いて干渉力を計算し、その干渉力に基づいて補正トルクを求め、電動機へのトルクに加算して出力している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した特願平 8-32230 に開示される制御方法では、状

2

態観測器により推定されたねじれ角度の値を微分して補正トルクを算出しており、このため、補正トルクにノイズが重畳しやすく、電動機が高周波振動を起こしたり、動作時の音が大きくなるおそれがある。本発明の目的は、軸間の干渉による振動や電動機の高周波振動を起こすことなく、ツール先端の軌跡精度を向上させることができるロボット制御装置を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明のロボット制御装置は、各軸ごとに電動機とロボットアームとの間にバネ要素を有する機構が設けられた多軸ロボットの制御に使用され、前記各電動機に対する位置指令を入力として、前記各軸ごとに、モデル電動機位置指令、モデル電動機速度指令及びモデルフィードフォワード指令を出力するモデル制御器と、前記モデル制御器から出力される前記各指令に基づき、前記各電動機及び前記各ロボットアームを駆動、制御するフィードバック制御器と、を備えるロボット制御装置において、前記モデル制御器内に、軸間に作用する他軸からの干渉による干渉トルクを求め、前記干渉トルクを相殺するモデル補正トルクを算出する補正量算出部を有し、前記モデル補正トルクを加算された前記モデルフィードフォワード指令が前記モデル制御器から出力する。

【0005】本発明においては、補正量を算出する際に、干渉トルクを、モデル電動機とモデルロボットアームとの位置偏差であるモデルねじり角により算出することができる。本発明では、他軸から受ける干渉力を干渉トルクとして求めてモデル制御器で補正し、この補正量（補正トルク）を基に規範となる各状態量をフィードバック制御器に入力する。干渉力を相殺するような補正量の算出には、モデルでの量、例えばモデルねじれ角を使用するので、微分演算を行ったとしても、補正量にノイズ成分が重畳することがない。したがって、電動機の高周波振動や動作時の音が大きくなることが防がれ、ロボットツールの軌跡精度が向上する。

【0006】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図 1 は、本発明の実施の一形態のロボット制御装置の構成を示す制御ブロック図であり、図 2 は、モデル制御器の構成を示す制御ブロック図である。ここでは、説明を容易にするために 2 軸ロボットの場合を取り上げるが、3 軸以上の多軸ロボットにおいても、該当する軸数の場合に以下の説明を拡張することにより、本発明を適用することができる。図 1 は、各軸ごとに 2 慣性系（電動機+減速機等のバネ+アーム）に近似したロボット制御系の基本構成を示している。2 軸を L 軸、U 軸とおき、L 軸に関する指令や量についてはそのサフィックスに「_L」を付加し、U 軸に関する指令や量についてはそのサフィックスに「_U」を付加している。

3

【0007】このロボット制御装置は、各軸ごとの電動機位置指令 X_{ref_L} 、 X_{ref_U} に基づいてL軸及びU軸の制御を行うものであり、2軸の制御系（フィードバック制御器）と制御対象（電動機、減速機、ロボットアーム）との擬似モデルであるモデル制御器1を有している。モデル制御器1は、電動機位置指令 X_{ref_L} 、 X_{ref_U} を入力とし、ロボットのダイナミクスを考慮して各軸のフィードフォワード指令 U_{FF_L} 、 U_{FF_U} を計算し、各軸の電動機の加速度項へのフィードフォワード補償を行うとともに、規範となるモデルにおける各軸の電動機位置 θ_{Mm_L} 、 θ_{Mm_U} 、電動機速度

【0008】

【外1】

$$\dot{\theta}_{Mm_L}, \dot{\theta}_{Mm_U}$$

ねじれ角 θ_{Ms_L} 、 θ_{Ms_U} 、ねじれ角速度

【0009】

【外2】

$$\dot{\theta}_{Ms_L}, \dot{\theta}_{Ms_U}$$

を算出して出力する。以下、モデル制御器1の出力である各要素には、接頭語「モデル」を付加する。一方、フィードバック制御系（フィードバック制御器）において、各軸の位置ゲインは K_{p_L} 、 K_{p_U} 、速度ゲインは K_{v_L} 、 K_{v_U} 、トルク定数は K_{t_L} 、 K_{t_U} であり、電動機に与えられる最終的な加速度指令はそれぞれ U_{ref_L} 、 U_{ref_U} である。また、各軸の電動機の慣性モーメントはそれぞれ J_{m_L} 、 J_{m_U} 、電流指令は I_{ref_L} 、 I_{ref_U} である。電動機の実際の位置は θ_{m_L} 、 θ_{m_U} であり、電動機の実際の速度は

【0010】

【外3】

$$\dot{\theta}_{m_L}, \dot{\theta}_{m_U}$$

であり、電動機の実際の加速度は

【0011】

【外4】

$$\ddot{\theta}_{m_L}, \ddot{\theta}_{m_U}$$

である。さらに減速機での減速比が N_L 、 N_U 、減速機のパネ定数が K_{c_L} 、 K_{c_U} 、アームの慣性モーメントが J_{L_L} 、 J_{L_U} 、アームの実際の位置が θ_{L_L} 、 θ_{L_U} 、アームの加速度（負荷加速度）が

【0012】

【外5】

$$\ddot{\theta}_{L_L}, \ddot{\theta}_{L_U}$$

で表わされている。そして、両軸間の干渉を表わすために、ロボットアームの質量や両軸間の角度により決定される M_{LU}/M_0^2 の値がL軸の負荷トルクに乘じられてU

(3)

4

軸の負荷加速度に作用し、同様に、 M_{UL}/M_0^2 の値がU軸の負荷トルクに乘じられてL軸の負荷加速度に作用する構成となっている。このロボット制御系には、L軸、U軸のそれぞれごとに、電動機への最終的な加速度指令 U_{ref_L} 、 U_{ref_U} と電動機の実際の位置 θ_{m_L} 、 θ_{m_U} を入力として、実際のねじれ角 θ_{s_L} 、 θ_{s_U} とその角速度

【0013】

【外6】

$$\dot{\theta}_{s_L}, \dot{\theta}_{s_U}$$

とを推定する状態観測器2L、2Uが設けられている。さて、このフィードバック制御器では、モデル制御器1から出力されるモデル電動機位置 θ_{Mm_L} 、 θ_{Mm_U} と実際の電動機位置 θ_{m_L} 、 θ_{m_U} との偏差に対して位置ゲイン K_{p_L} 、 K_{p_U} を乗算して、それぞれの軸の速度指令としている。このように得られた各速度指令に、モデル電動機速度

【0014】

【外7】

$$\dot{\theta}_{Mm_L}, \dot{\theta}_{Mm_U}$$

と実際の電動機速度

【0015】

【外8】

$$\dot{\theta}_{m_L}, \dot{\theta}_{m_U}$$

との偏差を加算し、速度ゲイン K_{v_L} 、 K_{v_U} を乗算して、それぞれ、加速度指令としている。このような加速度指令に対して、(a)モデル制御器1からのフィードフォワード指令 U_{FF_L} 、 U_{FF_U} と、(b)モデルねじれ角 θ_{Ms_L} 、 θ_{Ms_U} と状態観測器2L、2Uから出力されるねじれ角 θ_{s_L} 、 θ_{s_U} との偏差にフィードバックゲイン K_{1_L} 、 K_{1_U} を乗じたものと、(c)モデルねじれ角速度

【0016】

【外9】

$$\dot{\theta}_{Ms_L}, \dot{\theta}_{Ms_U}$$

と状態観測器2L、2Uから出力されるねじれ角速度

【0017】

【外10】

$$\dot{\theta}_{s_L}, \dot{\theta}_{s_U}$$

との偏差にフィードバックゲイン K_{2_L} 、 K_{2_U} を乗じたものとを加算し、それぞれ、各軸に対する最終的な電動機加速度指令 U_{ref_L} 、 U_{ref_U} としている。このロボット制御系では、このように得られた最終的な電動機加速度指令 U_{ref_L} 、 U_{ref_U} により各軸の電動機が駆動され、減速比がそれぞれ N_L 、 N_U である減速機を介して、各軸のアームが駆動される。その際、上述したように、軸間の干渉力が各軸の負荷加速度に作用する。

(4)

5

【0018】次に、モデル制御器1の構成を説明する。図2は、フィードバック制御系や電動機、減速機、ロボットアームを表す擬似モデルからなるモデル制御器1の構成の詳細を示している。擬似モデルにおける各軸の位置ゲインと速度ゲインがそれぞれモデル位置ゲイン K_{pM_L} 、 K_{pM_U} とモデル速度ゲイン K_{vM_L} 、 K_{vM_U} である。同様に、モデル電動機慣性モーメント J_{mM_L} 、 J_{mM_U} 、モデルアーム慣性モーメント J_{LM_L} 、 J_{LM_U} 、モデル減速比 N_{M_L} 、 N_{M_U} 、モデル減速機バネ定数 K_{cM_L} 、 K_{cM_U} が、モデルパラメータとして定められている。

【0019】モデル制御器1は、各軸の電動機位置指令 X_{ref_L} 、 X_{ref_U} を入力とし、この電動機位置指令 X_{ref_L} 、 X_{ref_U} とモデル電動機位置 θ_{Mm_L} 、 θ_{Mm_U} との偏差にモデル位置ゲイン K_{pM_L} 、 K_{pM_U} を乗じて各軸のモデル速度指令としている。そして、これらのモデル速度指令から各軸のモデル電動機速度

【0020】

【外11】

$$\dot{\theta}_{Mm_L}, \dot{\theta}_{Mm_U}$$

$$U_{Mref_L} = K_{pM_L} \cdot K_{vM_L} (X_{ref_L} - \theta_{Mm_L}) - K_{vM_L} \cdot \dot{\theta}_{Mm_L} - K_{IM_L} \cdot \theta_{Ms_L} - K_{2M_L} \cdot \dot{\theta}_{Ms_L} \quad (1)$$

$$U_{Mref_U} = K_{pM_U} \cdot K_{vM_U} (X_{ref_U} - \theta_{Mm_U}) - K_{vM_U} \cdot \dot{\theta}_{Mm_U} - K_{IM_U} \cdot \theta_{Ms_U} - K_{2M_U} \cdot \dot{\theta}_{Ms_U} \quad (2)$$

と表わすことができる。しかし、ここで想定している2軸ロボットでは、干渉により、L軸の負荷トルクが、ロボットアームの質量や両軸間の角度により決定される値 M_{LUM}/M_{oM}^2 が乗じられて、U軸の負荷加速度に作用する。同様に、U軸の負荷トルクが、値 M_{ULM}/M_{oM}^2 が乗じられて、L軸の負荷加速度に作用する。このような干*

6

を減算した値にモデル速度ゲイン K_{vM_L} 、 K_{vM_U} を乗算して、それぞれ各軸のモデル加速度指令としている。このモデル加速度指令に、モデル減速機から得られるモデルねじれ角 θ_{Ms_L} 、 θ_{Ms_U} にモデルフィードバックゲイン K_{IM_L} 、 K_{IM_U} を乗じて得られる値と、モデルねじれ角 θ_{Ms_L} 、 θ_{Ms_U} を微分して得られるモデルねじれ角速度

【0021】

【外12】

$$\dot{\theta}_{Ms_L}, \dot{\theta}_{Ms_U}$$

にモデルフィードバックゲイン K_{2M_L} 、 K_{2M_U} を乗じて得られる値とを減算し、モデル加速度指令 U_{Mref_L} 、 U_{Mref_U} としている。このモデル加速度指令 U_{Mref_L} 、 U_{Mref_U} が、モデル電動機に入力している。したがって、モデル加速度指令 U_{Mref_L} 、 U_{Mref_U} は、

【0022】

【数1】

* 渉をアーム側に作用する外乱としてとらえると、L軸に関しては、下式に示すモデル補正トルク T_{comp_L} をモデル電動機加速度指令 U_{Mref_L} に加算すれば、干渉によるアームの振動を軽減することができる。

【0023】

【数2】

$$T_{comp_L} = -\frac{K_{pM_L} \cdot K_{vM_L} \cdot N_{M_L} \cdot D_{is_UL}}{K_{cM_L}} - \frac{K_{vM_L} \cdot N_{M_L} \cdot \dot{D}_{is_UL}}{K_{cM_L}} - \frac{K_{IM_L} \cdot D_{is_UL}}{K_{cM_L}} - \frac{K_{2M_L} \cdot \dot{D}_{is_UL}}{K_{cM_L}} - \frac{D_{is_UL}}{J_{mM_L} \cdot N_{M_L}} - \frac{N_{M_L} \cdot \ddot{D}_{is_UL}}{K_{cM_L}} \quad (3)$$

ここで、 D_{is_UL} は、U軸からL軸に作用する干渉トルクであって、

※【0024】

※【数3】

$$D_{is_UL} = J_{LM_L} \cdot K_{cM_U} \cdot \frac{M_{ULM}}{M_{oM}^2} \cdot \theta_{Ms_U} \quad (4)$$

と表わすことができる。よって、最終的なモデル電動機加速度指令 U_{FF_L} を

★【0025】

★【数4】

$$U_{FF_L} = U_{Mref_L} + T_{comp_L} \quad (5)$$

として、電動機の加速度項へフィードフォワード補償を行う。このモデル制御器1には、モデルねじれ角 θ_{Ms_U} を入力として上述の式(3)、(4)に基づいてモデル補正トルク T_{comp_L} を算出する補正量算出部3_Lが設けられており、補正量算出部3_Lからのモデル補正トルク T

$comp_L$ がモデル電動機加速度指令 U_{Mref_L} に加算される。同様に、U軸についても、モデル補正トルク T_{comp_U} を

【0026】

【数5】

50

(5)

$$T_{comp_U} = - \frac{K_{pM_U} \cdot K_{vM_U} \cdot N_{M_U} \cdot \dot{D}_{is_LU}}{K_{cM_U}} - \frac{K_{vM_U} \cdot N_{M_U} \cdot \ddot{D}_{is_LU}}{K_{cM_U}} - \frac{K_{1M_U} \cdot \dot{D}_{is_LU}}{K_{cM_U}} - \frac{K_{2M_U} \cdot \ddot{D}_{is_LU}}{K_{cM_U}} - \frac{D_{is_LU}}{J_{mM_U} \cdot N_{M_U}} - \frac{N_{M_U} \cdot \ddot{D}_{is_LU}}{K_{cM_U}} \quad (6)$$

のように定める。ここで D_{is_LU} は、L 軸から U 軸に作用する干渉トルクであって、

$$D_{is_LU} = J_{LM_U} \cdot K_{cM_L} \cdot \frac{M_{LUM}}{M_{oM}^2} \cdot \theta_{Ms_L} \quad (7)$$

である。モデルねじれ角 θ_{Ms_L} を入力として式 (6)、(7) に基づきモデル補正トルク T_{comp_U} を求める補正量算出部 3U が設けられている。その結果、最終的なモデル電

$$U_{FF_U} = U_{Mref_U} + T_{comp_U}$$

となる。なお、ここで求めたモデル補正トルク T_{comp_L} 、 T_{comp_U} は、フィードバック制御系の速度ループを比例制御とした場合であり、比例積分制御として補正トルクを求め補償することも可能である。本実施の形態では、このようにモデル制御器 1 により干渉トルク補正を行った上で、規範となる各状態量を指令としてフィードバック制御系に入力するので、各ロボットアームは、他軸からの干渉による影響を受けなくなる。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、各軸ごとに電動機とロボットアームとの間にバネ要素を有する機構が設けられた多軸ロボットの制御に使用されるロボット制御装置において、他軸から受ける干渉力をモデル制御器で補正し、それを基に規範となる各状態量をフィードバック制御器に入力することにより、補正トルクにノイズ成分が重畳することがなくなり、ロボットアームは

※ 動機加速度指令 U_{FF_U} は、

【0028】

【数7】

(8)

干渉による振動を受けずにツール先端の軌跡精度が向上するという効果がある。

【図面の簡単な説明】

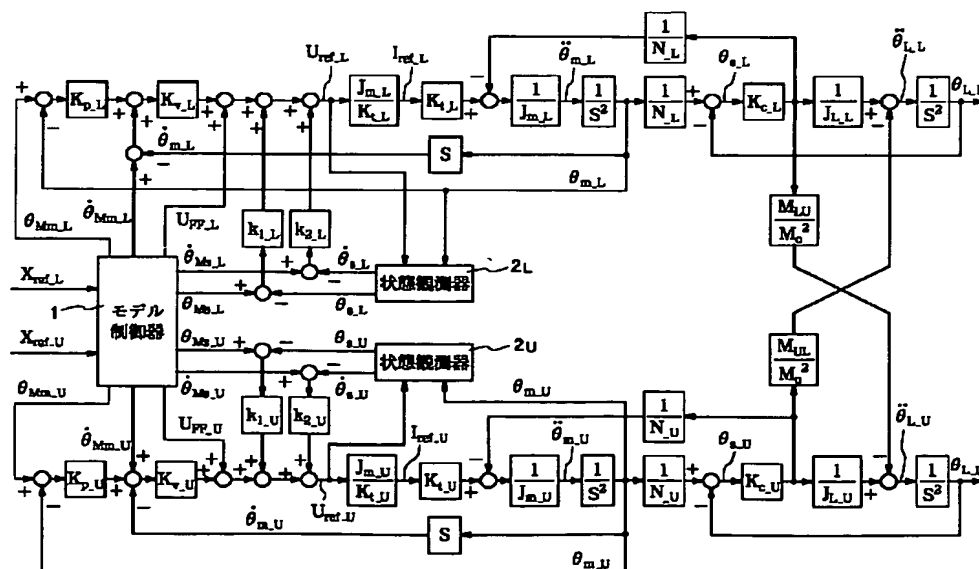
【図1】 本発明の実施の一形態のロボット制御装置の構成を示す制御ブロック図である。

【図2】 モデル制御器の構成を示す制御ブロック図である。

【符号の説明】

- 1 モデル制御器
- 2L, 2U 状態観測器
- 3L, 3U 補正量演算部
- T_{comp_L} , T_{comp_U} モデル補正トルク
- U_{FF_L} , U_{FF_U} モデルフィードフォワード指令
- X_{ref_L} , X_{ref_U} 位置指令
- θ_{Mm_L} , θ_{Mm_U} モデル電動機位置指令
- θ_{Ms_L} , θ_{Ms_U} モデルねじれ角

【図1】



(6)

【図2】

